

(11)Publication number : 2003-131137

(43)Date of publication of application : 08.05.2003

(51)Int.Cl.

G02B 17/08
G02B 13/14
G02B 13/18
G02B 26/00
H01S 3/00

(21)Application number : 2001-327025

(71)Applicant : TOCHIGI NIKON CORP
NIKON CORP

(22)Date of filing : 24.10.2001

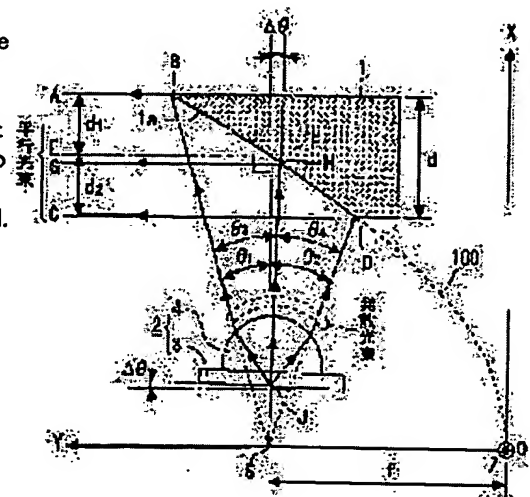
(72)Inventor : AKAHORI HIROMICHI
IWAMOTO TOSHIYUKI

(54) TERAHERTZ LIGHT SUPPLYING OPTICAL SYSTEM, TERAHERTZ LIGHT DETECTION OPTICAL SYSTEM AND TERAHERTZ OPTICAL DEVICE USING THEM

(57)Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the utilization efficiency of terahertz light supplied as a parallel optical beam.

SOLUTION: A terahertz light generation part 2 generates terahertz light which is a divergent luminous flux having a directivity in radiant intensity. An off-parabolic surface mirror 1 reflects the terahertz light generated from the generation part 2 on the reflection face 1a, forms the light into a parallel luminous flux and supplies it outside. The divergence center point of the divergent luminous flux is located at the focal point S of an off-axis paraboloidal mirror 1. The generation part 2 is tilted in an X-Y plane so that a reference light among the divergent luminous flux which is directed to the direction in which the radiant intensity is the largest advances along a line segment SH. The absolute value of an angle θ_3 between one of the two light beams, which arrive at two intersecting points B and D, respectively, at which the periphery of an incident region of the terahertz light on the reflection face 1a intersects with the X-Y plane, and the reference light beam in the X-Y plane, and the absolute value of an angle θ_4 between the other light beam and the reference light beam in the X-Y plane are equal.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-131137

(P2003-131137A)

(43) 公開日 平成15年5月8日 (2003.5.8)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード [*] (参考)
G 0 2 B	17/08	G 0 2 B	17/08
	13/14		13/14
	13/18		13/18
	26/00		26/00
H 0 1 S	3/00	H 0 1 S	3/00
			F
審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 11 頁)			

(21) 出願番号 特願2001-327025 (P2001-327025)

(22) 出願日 平成13年10月24日 (2001. 10. 24)

(71) 出願人 592171153

株式会社栃木ニコン

栃木県大田原市実取770番地

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 赤堀 洋道

栃木県大田原市実取770番地 株式会社栃
木ニコン内

(74) 代理人 100096770

弁理士 四宮 通

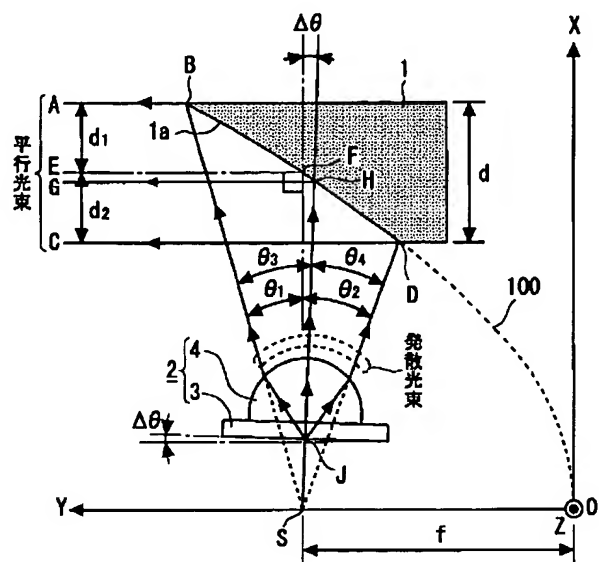
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 テラヘルツ光供給光学系、テラヘルツ光検出光学系、及びこれを用いたテラヘルツ光装置

(57) 【要約】

【課題】 平行光束として供給するテラヘルツ光の利用効率を高める。

【解決手段】 テラヘルツ光発生部2は、放射強度に指向性を有する発散光束のテラヘルツ光を発生する。軸外し放物面鏡1は、発生部2から発生したテラヘルツ光を反射面1aで反射して、平行光束にして外部に供給する。前記発散光束の発散中心点が、軸外し放物面鏡1の焦点Sに位置する。前記発散光束のうち放射強度の最も高い方向に向かう基準光線が、線分SHに沿って進行するように、発生部2がXY平面内で傾けられる。反射面1aのテラヘルツ光入射領域の周縁とXY平面とが交わる2つの点B、Dにそれぞれ到達する2本の光線のうちの一方の光線と前記基準光線とがXY平面内においてなす角度 θ_3 の絶対値と、他方の光線と前記基準光線とがXY平面内においてなす角度 θ_4 の絶対値とが、等しい。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 放射強度に指向性を有する発散光束のテラヘルツ光を発生するテラヘルツ光発生部と、軸外し放物面鏡とを備え、前記テラヘルツ光発生部から発生したテラヘルツ光を実質的に平行光束にして供給するテラヘルツ光供給光学系において、

(a) 前記発散光束の発散中心点が、前記軸外し放物面鏡の焦点の付近又は前記焦点と光学的に等価な位置の付近に位置すること、

(b) 前記発散光束のうち前記放射強度の最も高い方向 10 に向かう基準光線が、少なくとも前記軸外し放物面鏡の回転放物面をなす反射面の付近で、前記反射面を規定する回転軸を含む所定の基準面内に実質的に含まれること、及び、

(c) 前記反射面のテラヘルツ光入射領域の周縁と前記基準面とが交わる 2 つの点にそれぞれ到達する前記発散光束に含まれる 2 本の光線のうちの一方の光線と前記基準光線とが、少なくとも前記反射面の付近で、前記基準面内においてなす角度の絶対値と、前記 2 本の光線のうちの他方の光線と前記基準光線とが、少なくとも前記反 20 射面の付近で、前記基準面内においてなす角度の絶対値とが、略等しいこと、

の各条件を満たすように、前記テラヘルツ光発生部と前記軸外し放物面鏡との光学的な位置関係が設定されたことを特徴とするテラヘルツ光供給光学系。

【請求項 2】 収束中心点に収束しようとする収束光束のテラヘルツ光を前記収束中心点に対応するテラヘルツ光検出点で受光し検出感度に指向性を有するテラヘルツ光検出部と、軸外し放物面鏡とを備え、前記軸外し放物面鏡の回転放物面をなす反射面に該反射面を規定する回 30 転軸と実質的に平行に入射される、実質的に平行光束のテラヘルツ光を検出するテラヘルツ光検出光学系において、

(a) 前記収束中心点が、前記軸外し放物面鏡の焦点の付近又は前記焦点と光学的に等価な位置の付近に位置すること、

(b) 前記収束光束のうち前記検出感度の最も高い方向から前記収束中心点に向かう基準光線が、少なくとも前記反射面の付近で、前記回転軸を含む所定の基準面内に実質的に含まれること、及び、

(c) 前記反射面のテラヘルツ光入射領域の周縁と前記基準面とが交わる 2 つの点からそれぞれ前記テラヘルツ光検出点に到達する前記収束光束に含まれる 2 本の光線のうちの一方の光線と前記基準光線とが、少なくとも前記反射面の付近で、前記基準面内においてなす角度の絶対値と、前記 2 本の光線のうちの他方の光線と前記基準光線とが、少なくとも前記反射面の付近で、前記基準面内においてなす角度の絶対値とが、略等しいこと、

の各条件を満たすように、前記テラヘルツ光検出部と前記軸外し放物面鏡との光学的な位置関係が設定されたこ 50

とを特徴とするテラヘルツ光検出光学系。

【請求項 3】 テラヘルツ光発生部と、該テラヘルツ光発生部から発生し所定の光路を経て到達するテラヘルツ光を検出するテラヘルツ光検出部と、を備えたテラヘルツ光装置において、

請求項 1 記載のテラヘルツ光供給光学系及び請求項 2 記載のテラヘルツ光検出光学系のうちの両方又はいずれか一方を備えたことを特徴とするテラヘルツ光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、軸外し放物面鏡を有するテラヘルツ光学系に関し、特に、テラヘルツ光を実質的に平行光束にして供給するテラヘルツ光供給光学系、及び、実質的に平行光束のテラヘルツ光を検出するテラヘルツ光検出光学系に関するものである。また、本発明は、このような光学系を用いたテラヘルツ光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、物質の測定・検査・イメージ化及びその他の種々の分野において、テラヘルツ分光法などのテラヘルツ光の利用技術の有用性が認識されてきており、テラヘルツ光学系を有する種々のテラヘルツ光装置が、既に提供されあるいは新たに開発されようとしている。このようなテラヘルツ光装置では、一般的に、テラヘルツ光を実質的に平行光束にして供給するテラヘルツ光供給光学系、及び、実質的に平行光束のテラヘルツ光を検出するテラヘルツ光検出光学系が、用いられる。そして、前記テラヘルツ光供給光学系及びテラヘルツ光検出光学系では、軸外し放物面鏡が用いられることが多い。

【0003】ここで、軸外し放物面鏡の一例について、図 4 及び図 5 を参照して説明する。図 4 は、軸外し放物面鏡 1 の一例を示す概略斜視図である。図 5 は、図 4 中の W-W' 線に沿った概略断面図である。

【0004】軸外し放物面鏡 1 は、反射面 1a を有している。図 5 に示すように互いに直交する X 軸、Y 軸及び Z 軸を定義すると、反射面 1a は、X 座標を x とするとともに Y 座標を y として、 $y = ax^2$ の式 (a は定数) で表される放物線 100 の一部分を Y 軸を回転軸として回転させた回転放物面をなしている。すなわち、Y 軸は、反射面 1a を規定する回転軸となっている。XY 平面は、Y 軸 (回転軸) を含む 1 つの基準面 (平面) となっている。

【0005】この軸外し放物面鏡 1 では、反射面 1a を XZ 平面に写像すると円となり、反射面 1a と XY 平面とが交わる放物線上の点 F を XZ 平面に写像すると前記円の中心となるようになっている。したがって、反射面 1a と XY 平面とが交わる放物線の一方の端点 B を通り Y 軸と平行な直線 AB と、点 F を通り Y 軸と平行な直線 EF との間の、X 軸方向の距離 d_1 は、反射面 1a と X

Y平面とが交わる放物線の他方の端点Dを通りY軸と平行な直線CDと、点Fを通りY軸と平行な直線EFとの間の、X軸方向の距離 d_2 と、等しい。直線ABと直線CDとの間のX軸方向の距離を d とすると、 $d = 2d_1 = 2d_2$ となる。この軸外し放物面鏡1の焦点距離 f は、線分OSの長さである。

【0006】反射面1aの焦点Sは、Y軸上に位置している。この軸外し放物面鏡1では $\angle EFS$ は 90° であり、したがって、軸外し放物面鏡1は 90° 軸外し放物面鏡となっている。今、Y軸を含む種々の基準面（平面）について、当該基準面と反射面1aとが交わる放物線の一方の端点と焦点Sとを結ぶ線分と、当該基準面と反射面1aとが交わる放物線の他方の端点と焦点Sとを結ぶ線分とがなす、挟角を考える。本例による軸外し放物面鏡1では、この挟角が最大となる基準面がXY平面（図5の紙面）である。つまり、XY平面の挟角 $\angle BSD$ は、他のいずれの基準面の挟角より大きい。本例では、図4も参照するとわかるように、点Bは放射面1a上のY軸方向の最も+側の点であり、点Dは放射面1a上のY軸方向の最も-側の点である。

【0007】本発明者は、研究の結果、図5に示すように $\angle BSF$ を θ_1 、 $\angle DSF$ を θ_2 とすると、 $\theta_1 < \theta_2$ であることを認識するに至った。そこで、本発明者は、図5中の点Hを想定した。点Hは、XY平面内において、 $\angle BSD$ の二等分線が放射面1aと交わる点である。したがって、 $\angle BSH$ を θ_3 、 $\angle DSH$ を θ_4 とすると、 $\theta_3 = \theta_4$ である。直線GHは、点Hを通りY軸と平行な直線である。線分FSと線分HSとがなす挟角を $\Delta\theta$ とする。なお、従来は、 $\theta_1 < \theta_2$ であることは全く認識されていなかった。点H、角 $\theta_1 \sim \theta_4$ 及び直線GHは、従来は想定も認識もされていなかったものであるが、説明の都合上、図5中に補助的に記入してここで説明した。この点は、後述する図6及び図7についても同様である。

【0008】以上の説明からわかるように、軸外し放物面鏡1の放射面1aに、平行光束のテラヘルツ光がY軸と平行に入射すると、このテラヘルツ光は、放射面1aで反射された後に、焦点Sに集光される。例えば、直線ABに沿って点Bに入射した光線は線分BSに沿って進行して焦点Sに到達し、直線CDに沿って点Dに入射した光線は線分DSに沿って進行して焦点Sに到達し、直線EFに沿って点Fに入射した光線は線分FSに沿って進行して焦点Sに到達し、直線GHに沿って点Hに入射した光線は線分HSに沿って進行して焦点Sに到達する。

【0009】逆に、焦点Sを発散中心点とする発散光束のテラヘルツ光が軸外し放物面鏡1の放射面1aに入射すると、このテラヘルツ光は、放射面1aで反射された後に、平行光束となる。例えば、直線SBに沿って点Bに入射した光線は線分BAに沿って進行し、直線SDに

沿って点Dに入射した光線は線分DCに沿って進行し、直線SFに沿って点Fに入射した光線は線分FEに沿って進行し、直線SHに沿って点Hに入射した光線は線分HGに沿って進行する。

【0010】図6は、前述した図4及び図5に示す軸外し放物面鏡1を有する従来のテラヘルツ光供給光学系を示す概略断面図であり、図5に対応している。図6において、図4及び図5中の要素等と同一又は対応する要素等には同一符号を付し、その重複する説明は省略する。

10 【0011】図6に示すテラヘルツ光供給光学系は、前述した図4及び図5に示す軸外し放物面鏡1と、放射強度に指向性を有する発散光束のテラヘルツ光を発生するテラヘルツ光発生部2とを備え、テラヘルツ光発生部2から発生した発散光束のテラヘルツ光を実質的に平行光束にして外部に供給する。

20 【0012】テラヘルツ光発生部2は、テラヘルツ光発生源としてのダイポールアンテナ、ボウタイアンテナ等を用いた公知の光スイッチ素子3と、光スイッチ素子3のテラヘルツ光発生点Jから発生したテラヘルツ光の発散角を狭めるように作用するシリコン等からなる超半球レンズ(hyper-hemispherical lens)4とを有している。光スイッチ素子3と超半球レンズ4とは一体化され、超半球レンズ4の光軸は、テラヘルツ光発生点Jを通る、光スイッチ素子3の光導電層の膜面の法線と一致している。ここでは、超半球レンズ4の光軸をテラヘルツ光発生部2の光軸と呼ぶ。テラヘルツ光発生部2がこのような構成を有しているので、テラヘルツ光発生部2から発生される発散光束（超半球レンズ4の外側の発散光束）は放射強度に指向性を有し、この発散光束では、
30 テラヘルツ光発生部2の光軸方向の放射強度が最も高く、この光軸方向から外れるに従って放射強度が低くなる。

【0013】図6に示す従来のテラヘルツ光供給光学系では、テラヘルツ光発生部2から発生される発散光束の発散中心点が軸外し放物面鏡1の焦点Sに位置し、かつ、テラヘルツ光発生部2の光軸が直線FSと一致するように、テラヘルツ光発生部2が配置されている。

40 【0014】図6に示す例では、軸外し放物面鏡1の反射面1aの全領域が、テラヘルツ光発生部2から発生した発散光束によるテラヘルツ光入射領域となっている。テラヘルツ光発生部2から発生した発散光束には、反射面1aから外れる光束も存在するが、反射面1aから外れる光束は平行光束となり得ない無効光束であるので、その図示は省略している。

50 【0015】テラヘルツ光発生部2の光軸が直線FSと一致しているため、テラヘルツ光発生部2から発生する発散光束のうち放射強度の最も高い方向に向かう基準光線（線分SFに沿って点Fに向かう光線）が、基準面であるXY平面内に含まれている。また、テラヘルツ光発生部2の光軸が直線FSと一致しているため、軸外し放

物面鏡 1 の反射面 1 a のテラヘルツ光入射領域（本例では、反射面 1 の全領域）の周縁と XY 平面とが交わる 2 つの点 B、D にそれぞれ到達する前記発散光束に含まれる 2 本の光線のうちの一方の光線（線分 S B に沿って点 B に到達する光線）と前記基準光線とが、XY 平面内においてなす角度 θ_1 の絶対値と、前記 2 本の光線のうちの他方の光線（線分 S D に沿って点 D に到達する光線）と前記基準光線とが、XY 平面内においてなす角度 θ_2 の絶対値とは、異なっている。既に説明したように、 $\theta_1 < \theta_2$ である。

【0016】図 6 に示す従来のテラヘルツ光供給光学系によれば、図 6 に示すように、テラヘルツ光発生部 2 から発生した発散光束は、軸外し放物面鏡 1 の反射面 1 a により反射されて平行光束となって、外部に供給される。

【0017】図 7 は、前述した図 4 及び図 5 に示す軸外し放物面鏡 1 を有する従来のテラヘルツ光検出光学系を示す概略断面図であり、図 5 及び図 6 に対応している。図 7 において、図 4 乃至図 6 中の要素等と同一又は対応する要素等には同一符号を付し、その重複する説明は省

略する。
【0018】図 7 に示す従来のテラヘルツ光検出光学系は、前述した図 4 及び図 5 に示す軸外し放物面鏡 1 と、収束中心点に収束しようとする収束光束のテラヘルツ光を前記収束中心点に対応するテラヘルツ光検出点 J で受光し検出感度に指向性を有するテラヘルツ光検出部 5 とを備え、軸外し放物面鏡 1 の反射面 1 a に反射面 1 a を規定する回転軸（Y 軸）と平行に入射される平行光束のテラヘルツ光を検出する。図 7 に示す例では、軸外し放物面鏡 1 の反射面 1 a の全領域が、外部からの平行光束

によるテラヘルツ光入射領域となっている。
【0019】テラヘルツ光検出部 5 は、図 6 中のテラヘルツ光発生部 2 と全く同一の構成を有し、光スイッチ素子 3 及び超半球レンズ 4 を有している。ただし、テラヘルツ光検出部 5 では、テラヘルツ光発生部 2 の場合と光の進行方向が逆になるので、超半球レンズ 4 は、外部から入射される収束光束のテラヘルツ光の収束角を大きくするように作用することになる。また、点 J は、テラヘルツ光発生部 2 ではテラヘルツ光発生点であるのに対し、テラヘルツ光検出部 5 ではテラヘルツ光検出点となる。超半球レンズ 4 の光軸は、テラヘルツ光検出点 J を通る、光スイッチ素子 3 の光導電層の膜面の法線と一致している。ここでは、超半球レンズ 4 の光軸をテラヘルツ光検出部 5 の光軸と呼ぶ。テラヘルツ光検出部 5 がこのような構成を有しているため、テラヘルツ光検出部 5 に入射する収束光束（超半球レンズ 4 の外側の収束光束）に関してテラヘルツ光検出部 5 はテラヘルツ光の検出感度に指向性を有し、この収束光束では、テラヘルツ光検出部 5 の光軸方向の検出感度が最も高く、この光軸方向から外れるに従って検出感度が低くなる。

【0020】図 7 に示す従来のテラヘルツ光検出光学系におけるテラヘルツ光検出部 5 と軸外し放物面鏡 1 との位置関係は、図 6 に示す従来のテラヘルツ光供給光学系におけるテラヘルツ光発生部 2 と軸外し放物面鏡 1 との位置関係と同一に設定されている。すなわち、図 7 に示す従来のテラヘルツ光検出光学系では、テラヘルツ光検出点 J に集光されるべき収束光束（超半球レンズ 4 の外側の収束光束）の収束中心点が軸外し放物面鏡 1 の焦点 S に位置し、かつ、テラヘルツ光検出部 5 の光軸が直線 F S と一致するように、テラヘルツ光発生部 2 が配置されている。

【0021】テラヘルツ光検出部 5 の光軸が直線 F S と一致しているので、テラヘルツ光検出部 5 に入射する収束光束のうちテラヘルツ光検出部 5 の検出感度の最も高い方向から前記収束中心点に向かう基準光線（直線 F S に沿って焦点 S に向かう光線）が、基準面である XY 平面内に含まれている。また、テラヘルツ光検出部 5 の光軸が直線 F S と一致しているので、軸外し放物面鏡 1 の反射面 1 a のテラヘルツ光入射領域（本例では、反射面 1 a の全領域）の周縁と XY 平面とが交わる 2 つの点 B、D からそれぞれテラヘルツ光検出点 J に到達する前記収束光束に含まれる 2 本の光線のうちの一方の光線（線分 B S に沿った後に点 J に到達する光線）と前記基準光線とが、XY 平面内においてなす角度 θ_1 の絶対値と、前記 2 本の光線のうちの他方の光線（線分 D S に沿った後に点 J に到達する光線）と前記基準光線とが、XY 平面内においてなす角度 θ_2 の絶対値とは、異なっている。既に説明したように、 $\theta_1 < \theta_2$ である。

【0022】図 7 に示す従来のテラヘルツ光検出光学系によれば、図 7 に示すように、外部から軸外し放物面鏡 1 の反射面 1 a に入射した平行光束は、軸外し放物面鏡 1 の反射面 1 a により反射されて収束光束となり、更にテラヘルツ光検出点 J に集光されて検出される。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】本発明者の研究の結果、前述した図 6 に示す従来のテラヘルツ光供給光学系では、テラヘルツ光発生部 2 が放射強度に指向性を有することに起因して、平行光束として供給するテラヘルツ光の利用効率が低下していることが判明した。すなわち、テラヘルツ光発生部 2 が放射強度に指向性を有するため、図 6 においてテラヘルツ光発生部 2 の光軸が直線 F S と一致しており $\theta_1 < \theta_2$ であることから、テラヘルツ光発生部 2 から点 B へ向かう光線よりわずかに発散角度が大きい光線（線分 S B を S を中心として反時計方向にわずかに回転させた線分に沿って進行する光線）の放射強度は、テラヘルツ光発生部 2 から点 D へ向かう光線（線分 S D に沿って進行する光線）の放射強度に比べて、高い。ところが、相対的に放射強度の高い前者の光線は軸外し放物面鏡 1 の反射面 1 a から外れてしまい平行光束の一部となり得ず、代わりに、相対的に放射強度

の低い後者の光線が平行光束の一部となる。したがって、得られる平行光束の全体としての強度には、両者の差に相当する損失が発生しており、平行光束として供給するテラヘルツ光の利用効率が低下していた。

【0024】また、本発明者の研究の結果、前述した図7に示す従来のテラヘルツ光検出光学系では、テラヘルツ光検出部5が検出感度に指向性を有することに起因して、検出するテラヘルツ光の利用効率が低下していることが判明した。すなわち、テラヘルツ光検出部5が検出感度に指向性を有するため、図7においてテラヘルツ光検出部5の光軸が直線FSと一致しており $\theta_1 < \theta_2$ であることから、点Bからテラヘルツ光検出部5へ向かう光線よりわずかに収束角度が大きい光線（線分BSをSを中心として反時計方向にわずかに回転させた線分に沿って進行する光線）の検出感度は、点Dからテラヘルツ光検出部5へ向かう光線（線分DSに沿って進行する光線）の検出感度に比べて、高い。ところが、相対的に検出感度の高い前者の光線は軸外し放物面鏡1の反射面1aから外れてしまいテラヘルツ光検出点Jに到達し得ず、代わりに、相対的に検出感度の低い後者の光線がテラヘルツ光検出点Jに到達する。したがって、平行光束のテラヘルツ光の全体としての検出感度には、両者の差に相当する損失が発生しており、検出するテラヘルツ光の利用効率が低下していた。

【0025】本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、平行光束として供給するテラヘルツ光の利用効率を高めることができるテラヘルツ光供給光学系及びこれを用いたテラヘルツ光装置を提供することを目的とする。また、本発明は、検出するテラヘルツ光の利用効率を高めることができるテラヘルツ光検出光学系及びこれを用いたテラヘルツ光装置を提供することを目的とする。

【0026】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するため、本発明の第1の態様によるテラヘルツ光供給光学系は、放射強度に指向性を有する発散光束のテラヘルツ光を発生するテラヘルツ光発生部と、軸外し放物面鏡とを備え、前記テラヘルツ光発生部から発生したテラヘルツ光を実質的に平行光束にして供給するテラヘルツ光供給光学系において、（a）前記発散光束の発散中心点が、前記軸外し放物面鏡の焦点の付近又は前記焦点と光学的に等価な位置の付近に位置すること、（b）前記発散光束のうち前記放射強度の最も高い方向に向かう基準光線が、少なくとも前記軸外し放物面鏡の回転放物面をなす反射面の付近で、前記反射面を規定する回転軸を含む所定の基準面内に実質的に含まれること、及び、（c）前記反射面のテラヘルツ光入射領域の周縁と前記基準面とが交わる2つの点にそれぞれ到達する前記発散光束に含まれる2本の光線のうちの一方の光線と前記基準光線とが、少なくとも前記反射面の付近で、前記基準面内にお

いてなす角度の絶対値と、前記2本の光線のうちの他方の光線と前記基準光線とが、少なくとも前記反射面の付近で、前記基準面内においてなす角度の絶対値とが、略等しいこと、の各条件を満たすように、前記テラヘルツ光発生部と前記軸外し放物面鏡との光学的な位置関係が設定されたものである。

【0027】なお、前記第1の態様において、前記所定の基準面としては、例えば、前記回転軸を含む種々の基準面のうち、当該基準面と前記反射面とが交わる放物線の一方の端点と前記焦点とを結ぶ線分と、当該基準面と前記反射面とが交わる放物線の他方の端点と前記焦点とを結ぶ線分とがなす、挟角が、最大となる基準面とすることができる。

【0028】本発明の第2の態様によるテラヘルツ光検出光学系は、収束中心点に収束しようとする収束光束のテラヘルツ光を前記収束中心点に対応するテラヘルツ光検出点で受光し検出感度に指向性を有するテラヘルツ光検出部と、軸外し放物面鏡とを備え、前記軸外し放物面鏡の回転放物面をなす反射面に該反射面を規定する回転軸と実質的に平行に入射される、実質的に平行光束のテラヘルツ光を検出するテラヘルツ光検出光学系において、（a）前記収束中心点が、前記軸外し放物面鏡の焦点の付近又は前記焦点と光学的に等価な位置の付近に位置すること、（b）前記収束光束のうち前記検出感度の最も高い方向から前記収束中心点に向かう基準光線が、少なくとも前記反射面の付近で、前記回転軸を含む所定の基準面内に実質的に含まれること、及び、（c）前記反射面のテラヘルツ光入射領域の周縁と前記基準面とが交わる2つの点からそれぞれ前記テラヘルツ光検出点に到達する前記収束光束に含まれる2本の光線のうちの一方の光線と前記基準光線とが、少なくとも前記反射面の付近で、前記基準面内においてなす角度の絶対値と、前記2本の光線のうちの他方の光線と前記基準光線とが、少なくとも前記反射面の付近で、前記基準面内においてなす角度の絶対値とが、略等しいこと、の各条件を満たすように、前記テラヘルツ光検出部と前記軸外し放物面鏡との光学的な位置関係が設定されたものである。

【0029】なお、前記第2の態様において、前記所定の基準面としては、例えば、前記回転軸を含む種々の基準面のうち、当該基準面と前記反射面とが交わる放物線の一方の端点と前記焦点とを結ぶ線分と、当該基準面と前記反射面とが交わる放物線の他方の端点と前記焦点とを結ぶ線分とがなす、挟角が、最大となる基準面とすることができる。

【0030】本発明の第3の態様によるテラヘルツ光装置は、テラヘルツ光発生部と、該テラヘルツ光発生部から発生し所定の光路を経て到達するテラヘルツ光を検出するテラヘルツ光検出部と、を備えたテラヘルツ光装置において、前記第1の態様によるテラヘルツ光供給光学系及び前記第2の態様によるテラヘルツ光検出光学系の

うちの両方又はいずれか一方を備えたものである。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、本発明によるテラヘルツ光供給光学系、テラヘルツ光検出光学系、及びこれを用いたテラヘルツ光装置について、図面を参照して説明する。

【0032】[第1の実施の形態]

【0033】図1は、本発明の第1の実施の形態によるテラヘルツ光供給光学系を示す概略断面図であり、図5及び図6に対応している。図1において、図4乃至図6中の要素等と同一又は対応する要素等には同一符号を付し、その重複する説明は省略する。

【0034】本実施の形態によるテラヘルツ光供給光学系は、前述した図6に示す従来のテラヘルツ光供給光学系と同じく、前述した図4及び図5に示す軸外し放物面鏡1と、放射強度に指向性を有する発散光束のテラヘルツ光を発生するテラヘルツ光発生部2とを備え、テラヘルツ光発生部2から発生した発散光束のテラヘルツ光を実質的に平行光束にして外部に供給する。本実施の形態で用いるテラヘルツ光発生部2も、前述した図6に示す従来のテラヘルツ光供給光学系で用いるテラヘルツ光発生部2と同一である。もっとも、本発明では、テラヘルツ光発生部2の構成はこのような構成に限定されるものではない。

【0035】本実施の形態によるテラヘルツ光供給光学系が図6に示す従来のテラヘルツ光供給光学系と異なる所は、テラヘルツ光発生部2の軸外し放物面鏡1に対する配置のみである。すなわち、本実施の形態では、図1に示すように、テラヘルツ光発生部2を、図6に示す位置から、焦点Sを通りZ軸と平行な直線の回りに角度 $\Delta\theta$ だけ時計方向に回転移動させて、テラヘルツ光発生部2の光軸が直線HSと一致するように、配置している。

【0036】ここで、回転させるべき角度 $\Delta\theta$ は、図5に示す前述した幾何学的な関係から、直線ABと直線CDとの間のX軸方向の距離d及び軸外し放物面鏡の焦点距離fを用いて、次の数1で表すことができる。

【0037】

【数1】

$$\Delta\theta = \frac{1}{2} \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{d - \frac{d^2}{8f}}{4f - d} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{d + \frac{d^2}{8f}}{4f + d} \right) \right\}$$

【0038】例えば、軸外し放物面鏡1として、 $d = 50.8 \text{ mm}$ 、 $f = 50.8 \text{ mm}$ の 90° 軸外し放物面鏡を用いる場合、数1に従って計算すると、回転させるべき角度 $\Delta\theta$ は約 1.79° となる。

【0039】本実施の形態では、テラヘルツ光発生部2が前述したように配置されているので、テラヘルツ光発

生部2から発生される発散光束の発散中心点が、軸外し放物面鏡1の焦点S（必ずしも厳密に焦点Sの位置でなくてもよい）に位置している。また、テラヘルツ光発生部2から発生される発散光束のうち放射強度の最も高い方向に向かう基準光線（本実施の形態では、テラヘルツ光発生部2の光軸に沿った光線）が、軸外し放物面鏡1の回転軸（Y軸）を含む所定の基準面（本実施の形態では、XY平面）内に実質的に含まれている。

【0040】さらに、本実施の形態では、テラヘルツ光発生部2が前述したように配置されているので、軸外し放物面鏡1の反射面1aのテラヘルツ光入射領域（本実施の形態では、反射面1の全領域）の周縁とXY平面とが交わる2つの点B、Dにそれぞれ到達する前記発散光束に含まれる2本の光線のうちの一方の光線（線分SBに沿って点Bに到達する光線）と前記基準光線とが、XY平面内においてなす角度 θ_1 の絶対値と、前記2本の光線のうちの他方の光線（線分SDに沿って点Dに到達する光線）と前記基準光線とが、XY平面内においてなす角度 θ_2 の絶対値とが、等しくなっている。もっとも、本発明では、両者の角度の絶対値は、厳密に等しくなくてよく、実質的に等しくてもよいし、略等しくてもよい。ここで、略等しいとは、角度 θ_1 と角度 θ_2 との差の絶対値が角度 θ_1 と角度 θ_2 との差の絶対値より小さいことをいう。すなわち、本発明では、テラヘルツ光発生部2の光軸が直線HSに対して絶対値が角度 θ_1 と角度 θ_2 との差の絶対値より小さい角度だけずれていてもよい。

【0041】本実施の形態によれば、テラヘルツ光発生部2の光軸が直線HSと一致しており $\theta_1 = \theta_2$ であるので、図6に示す従来技術と比較して、テラヘルツ光発生部2の光軸に近く放射強度の高い発散光束が軸外し放物面鏡1の反射面1aに入射され、この光束によって平行光束が形成されることになる。したがって、本実施の形態によれば、平行光束として供給するテラヘルツ光の利用効率を高めることができる。

【0042】なお、本発明では、例えば、図1において、軸外し放物面鏡1とテラヘルツ光発生部2との間に、光路を折り曲げる平面反射鏡を配置してもよい。この場合、テラヘルツ光発生部2は、当該平面反射鏡に関して図1に示す位置と光学的に等価な位置に配置すればよい。また、本発明によるテラヘルツ光供給光学系では、軸外し放物面鏡1の反射面1aの全領域を、発散光束のテラヘルツ光が入射されるテラヘルツ光入射領域とする必要はないし、また、回転放物面の全ての領域が反射面1aでなくてもよい。さらに、本発明によるテラヘルツ光供給光学系において使用し得る軸外し放物面鏡は、 90° 軸外し放物面鏡に限定されるものではなく、例えば、 45° 軸外し放物面鏡を用いることもできる。

【0043】[第2の実施の形態]

【0044】図2は、本発明の第2の実施の形態による

テラヘルツ光検出光学系を示す概略断面図であり、図5及び図7に対応している。図2において、図4、図5及び図7中の要素等と同一又は対応する要素等には同一符号を付し、その重複する説明は省略する。

【0045】本実施の形態によるテラヘルツ光検出光学系は、前述した図7に示す従来のテラヘルツ光検出光学系と同じく、前述した図4及び図5に示す軸外し放物面鏡1と、収束中心点に収束しようとする収束光束のテラヘルツ光を前記収束中心点に対応するテラヘルツ光検出点Jで受光し検出感度に指向性を有するテラヘルツ光検出部5とを備え、軸外し放物面鏡1の反射面1aに反射面1aを規定する回転軸(Y軸)と平行に入射される平行光束のテラヘルツ光を検出する。本実施の形態で用いるテラヘルツ光検出部5も、前述した図7に示す従来のテラヘルツ光検出光学系で用いるテラヘルツ光検出部5と同一である。もっとも、本発明では、テラヘルツ光検出部5の構成はこのような構成に限定されるものではない。

【0046】本実施の形態によるテラヘルツ光検出光学系が図7に示す従来のテラヘルツ光検出光学系と異なる所は、テラヘルツ光検出部5の軸外し放物面鏡1に対する配置のみである。すなわち、本実施の形態では、図1に示すように、テラヘルツ光検出部5を、図7に示す位置から、焦点Sを通りZ軸と平行な直線の回りに角度 $\Delta\theta$ だけ時計方向に回転移動させて、テラヘルツ光検出部5の光軸が直線HSと一致するように、配置している。ここで、回転させるべき角度 $\Delta\theta$ は、前述した数1により算出することができる。

【0047】本実施の形態では、テラヘルツ光検出部5が前述したように配置されているので、テラヘルツ光検出点Jに集光されるべき収束光束(超半球レンズ4の外側の収束光束)の収束中心点が軸外し放物面鏡1の焦点S(必ずしも厳密に焦点Sの位置でなくてもよい)に位置している。また、テラヘルツ光検出部5に入射する収束光束のうちテラヘルツ光検出部5の検出感度の最も高い方向から前記収束中心点に向かう基準光線(本実施の形態では、テラヘルツ光検出部5の光軸に沿った光線)が、基準面であるXY平面内に実質的に含まれている。

【0048】さらに、本実施の形態では、テラヘルツ光検出部5が前述したように配置されているので、軸外し放物面鏡1の反射面1aのテラヘルツ光入射領域(本例では、反射面1の全領域)の周縁とXY平面とが交わる2つの点B、Dからそれぞれテラヘルツ光検出点Jに到達する前記収束光束に含まれる2本の光線のうちの一方の光線(線分BSに沿った後に点Jに到達する光線)と前記基準光線とが、XY平面内においてなす角度 θ_1 の絶対値と、前記2本の光線のうちの他方の光線(線分DSに沿った後に点Jに到達する光線)と前記基準光線とが、XY平面内においてなす角度 θ_2 の絶対値とが、等しくなっている。もっとも、本発明では、両者の角度の

絶対値は、厳密に等しくなくてよく、実質的に等しくてもよいし、略等しくてもよい。ここで、略等しいとは、角度 θ_1 と角度 θ_2 との差の絶対値が角度 θ_1 と角度 θ_2 との差の絶対値より小さいことをいう。すなわち、本発明では、テラヘルツ光検出部5の光軸が直線HSに対して絶対値が角度 θ_1 と角度 θ_2 との差の絶対値より小さい角度だけずれていてもよい。

【0049】本実施の形態によれば、テラヘルツ光検出部5の光軸が直線HSと一致しており $\theta_1 = \theta_2$ であるので、図7に示す従来技術と比較して、テラヘルツ光検出部5の光軸に近く検出感度の高い方向から収束光束がテラヘルツ光検出部5に入射され、これによって平行光束が検出されることになる。したがって、本実施の形態によれば、平行光束のテラヘルツ光の検出感度が高まり、検出する平行光束のテラヘルツ光の利用効率を高めることができる。

【0050】なお、本発明では、例えば、図2において、軸外し放物面鏡1とテラヘルツ光検出部5との間に、光路を折り曲げる平面反射鏡を配置してもよい。この場合、テラヘルツ光検出部5は、当該平面反射鏡に関して図1に示す位置と光学的に等価な位置に配置すればよい。また、本発明によるテラヘルツ光検出光学系では、軸外し放物面鏡1の反射面1aの全領域を、平行光束のテラヘルツ光が入射されるテラヘルツ光入射領域とする必要はないし、また、回転放物面の全ての領域が反射面1aでなくてもよい。さらに、本発明によるテラヘルツ光検出光学系において使用し得る軸外し放物面鏡は、90°軸外し放物面鏡に限定されるものではなく、例えば、45°軸外し放物面鏡を用いることもできる。

【0051】[第3の実施の形態]

【0052】図3は、本発明の第3の実施の形態によるテラヘルツ光装置を模式的に示す概略構成図である。

【0053】本実施の形態によるテラヘルツ光装置では、図3に示すように、レーザ光源等からなるフェムト秒パルス光源11から放射されたフェムト秒パルス光L1が、ビームスプリッタ12で2つのパルス光L2、L3に分割される。

【0054】ビームスプリッタ12で分割された一方のパルス光L2は、テラヘルツ光発生部17の光スイッチ素子を励起してこのテラヘルツ光発生部17にテラヘルツパルス光を発生させるためのポンプ光(パルス励起光)となる。このポンプ光L2は、光チョッパ13によりチョッピングされた後に、平面鏡14、15、16を経て、テラヘルツ光発生部17に導かれる。なお、図面には示していないが、テラヘルツ光発生部17の光スイッチ素子には、バイアス電源によりバイアス電圧が印加される。

【0055】ビームスプリッタ12で分割された他方のパルス光L3は、テラヘルツパルス光を検出するタイミングを定めるグローブ光(サンプリングパルス光)とな

る。このプローブ光L3は、平面鏡18、2枚もしくは3枚の平面鏡が組み合わされてなる可動鏡19、更には平面鏡20を経て、テラヘルツ光検出部21へ導かれる。本実施の形態では、テラヘルツ光検出部21は、光スイッチ素子を有している。

【0056】プローブ光L3の光路上に配置された可動鏡19は、制御・演算処理部30による制御下で、移動機構22により矢印V方向に移動可能となっている。可動鏡19の移動量に応じて、プローブ光L3の光路長が変わり、プローブ光L3がテラヘルツ光検出部21へ到達する時間が遅延する。すなわち、本実施の形態では、可動鏡19及び移動機構22が、プローブ光L3の時間遅延装置を構成している。

【0057】テラヘルツ光発生部17に導かれたポンプ光L2により、テラヘルツ光発生部17の光スイッチ素子が励起されてテラヘルツパルス光L4を放射する。テラヘルツパルス光L4としては、概ね 0.1×10^{12} から 100×10^{12} ヘルツまでの周波数領域の光が望ましい。このテラヘルツパルス光L4は、軸外し放物面鏡23を経て平行光束に変換された後、軸外し放物面鏡24により集光位置に集光される。本実施の形態では、この集光位置には、被測定物40の測定部位が配置される。

【0058】被測定物40を透過したテラヘルツパルス光L5は、軸外し放物面鏡25により平行光束に変換された後、軸外し放物面鏡26により収束光束に変換されて、テラヘルツ光検出部21に入射され、テラヘルツ光検出部21により検出されて電気信号に変換される。

【0059】この電流信号は、電流計27で電圧信号に変換された後、ロックイン増幅器28により、光チョッパ13のチョッピングと同期してロックイン検出される。ロックイン増幅器28の出力信号は、テラヘルツ光の電場強度の検出信号として、A/D変換器29によりA/D変換され、これがコンピュータ等からなる制御・演算処理部30に供給される。

【0060】フェムト秒パルス光源11から放射されるフェムト秒パルス光L1の繰り返し周期は、数kHzから100MHzオーダーである。したがって、テラヘルツ光発生部17から放射されるテラヘルツパルス光L4も、数kHzから100MHzオーダーの繰り返しで放射される。現在のテラヘルツ光検出部21では、このテラヘルツパルス光の波形を瞬時に、その形状のまま計測することは不可能である。

【0061】したがって、本実施の形態では、同じ波形のテラヘルツパルス光L5が数kHzから100MHzオーダーの繰り返しで到来することを利用して、ポンプ光L2とプローブ光L3との間に時間遅延を設けてテラヘルツパルス光L5の波形を計測する、いわゆるポンプ-プローブ法を採用している。すなわち、テラヘルツ光検出部21の光スイッチ素子を作動させるポンプ光L2

に対して、テラヘルツ光検出部21の光スイッチ素子を作動させるタイミングを時間 τ だけ遅らせることにより、時間 τ だけ遅れた時点でのテラヘルツパルス光L5の電場強度をテラヘルツ光検出部21で測定できる。言い換えれば、プローブ光L3は、テラヘルツ光検出部21に対してゲートをかけていることになる。また、可動鏡19を徐々に移動させることは、遅延時間 τ を徐々に変えることにほかならない。前記時間遅延装置によってゲートをかけるタイミングをずらしながら、繰り返し到来するテラヘルツパルス光L5の各遅延時間 τ ごとの時点の電場強度をテラヘルツ光検出部21から電気信号として順次得ることによって、テラヘルツパルス光L5の電場強度の時系列波形E(τ)を計測することができる。

【0062】本実施の形態では、テラヘルツパルス光の電場強度の時系列波形E(τ)の計測時には、制御・演算処理部30が、移動機構22に制御信号を与えて、前記遅延時間 τ を徐々に変化させながら、A/D変換器29からのデータを制御・演算処理部30内の図示しないメモリに順次格納する。これによって、最終的に、テラヘルツパルス光の電場強度の時系列波形E(τ)を示すデータ全体をメモリに格納する。このような時系列波形E(τ)を示すデータを、被測定物40を図3に示す位置に配置した場合と配置しない場合について取得する。制御・演算処理部30は、これらのデータに基づいて、被測定物の所望の特性を求め、これをCRT等の表示部31に表示させる。例えば、制御・演算処理部30は、公知の手法(デュヴィラレットら(Lionel Duvillearet, Frederic Garet, and Jean-Louis Coutaz)の論文("A Reliable Method for Extraction of Material Parameters in Terahertz Time-Domain Spectroscopy", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol.2, No.3, pp.739-746 (1996))によって、被測定物40の複素屈折率を演算し、これを表示部31に表示させる。

【0063】そして、本実施の形態では、図3中のテラヘルツ光発生部17及び軸外し放物面鏡23として、前述した第1の実施の形態によるテラヘルツ光供給光学系が採用されている。すなわち、図3中のテラヘルツ光発生部17として図1中のテラヘルツ光発生部2が用いられ、図3中の軸外し放物面鏡23として図1中の軸外し放物面鏡1が用いられ、両者の位置関係が前述した図1に示す位置関係に設定されている。

【0064】したがって、本実施の形態によれば、テラヘルツ光発生部17で発生したテラヘルツ光が、軸外し放物面鏡23により利用効率良く平行光束のテラヘルツ光に変換される。このため、試料40を透過するテラヘルツ光の強度が高まり、ひいては、SN比の高い測定を行うことができる。

【0065】また、本実施の形態では、図3中のテラヘ

ルツ光検出部21及び軸外し放物面鏡26として、前述した第2の実施の形態によるテラヘルツ光検出光学系が採用されている。すなわち、図3中のテラヘルツ光検出部21として図2中のテラヘルツ光検出部5が用いられ、図3中の軸外し放物面鏡26として図2中の軸外し放物面鏡1が用いられ、両者の位置関係が前述した図2に示す位置関係に設定されている。

【0066】したがって、本実施の形態によれば、軸外し放物面鏡25から軸外し放物面鏡26に入射される平行光束のテラヘルツ光が、利用効率良く高感度で、テラヘルツ光発生部17により検出される。このため、この点からも、よりSN比の高い測定を行うことができる。

【0067】なお、本実施の形態では、前述した第1の実施の形態によるテラヘルツ光供給光学系、及び、前述した第2の実施の形態によるテラヘルツ光検出光学系の、両方が採用されている。しかしながら、本発明によるテラヘルツ光装置では、それらのいずれか一方のみを採用するだけでもよい。すなわち、図3中のテラヘルツ光発生部17及び軸外し放物面鏡23として図6に示す従来のテラヘルツ光供給光学系を採用してもよいし、あるいは、図3中のテラヘルツ光検出部21及び軸外し放物面鏡26として図7に示す従来のテラヘルツ光検出光学系を採用してもよい。

【0068】以上、本発明の各実施の形態について説明したが、本発明はこれらの実施の形態に限定されるものではない。

【0069】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、平行光束として供給するテラヘルツ光の利用効率を高めることができるテラヘルツ光供給光学系及びこれを用い

＊たテラヘルツ光装置を提供することができる。

【0070】また、本発明によれば、検出するテラヘルツ光の利用効率を高めることができるテラヘルツ光検出光学系及びこれを用いたテラヘルツ光装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態によるテラヘルツ光供給光学系を示す概略断面図である。

【図2】本発明の第2の実施の形態によるテラヘルツ光検出光学系を示す概略断面図である。

【図3】本発明の第3の実施の形態によるテラヘルツ光装置を模式的に示す概略構成図である。

【図4】軸外し放物面鏡の一例を示す概略斜視図である。

【図5】図4中のW-W'線に沿った概略断面図である。

【図6】従来のテラヘルツ光供給光学系を示す概略断面図である。

【図7】従来のテラヘルツ光検出光学系を示す概略断面図である。

【符号の説明】

1, 23, 26 軸外し放物面鏡

1a 反射面

2, 17 テラヘルツ光発生部

3 光スイッチ素子

4 超半球レンズ

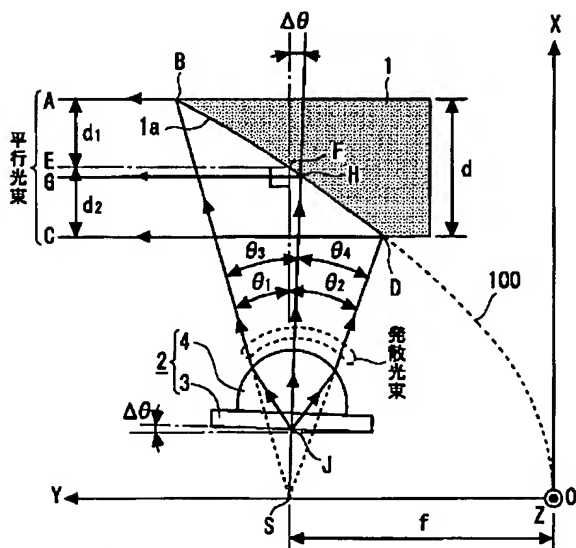
5, 21 テラヘルツ光検出部

11 フェムト秒パルス光源

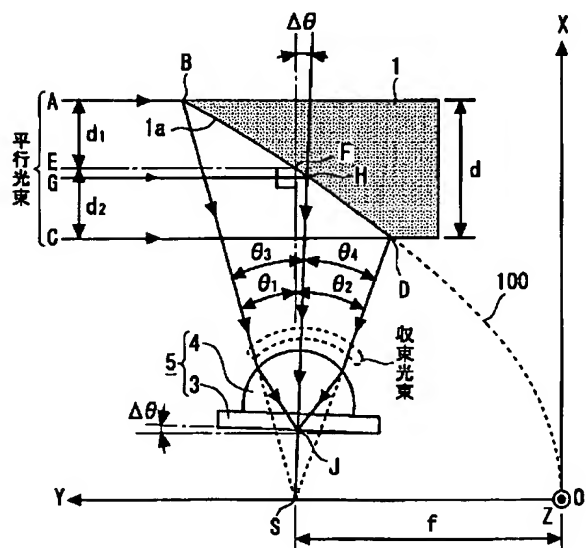
30 制御・演算処理部

40 被測定物

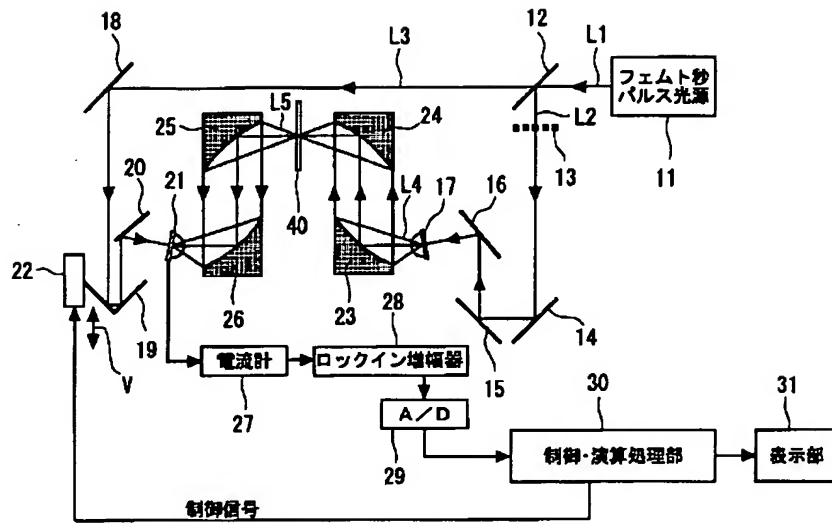
【図1】



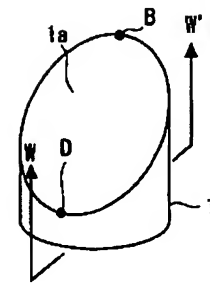
【図2】



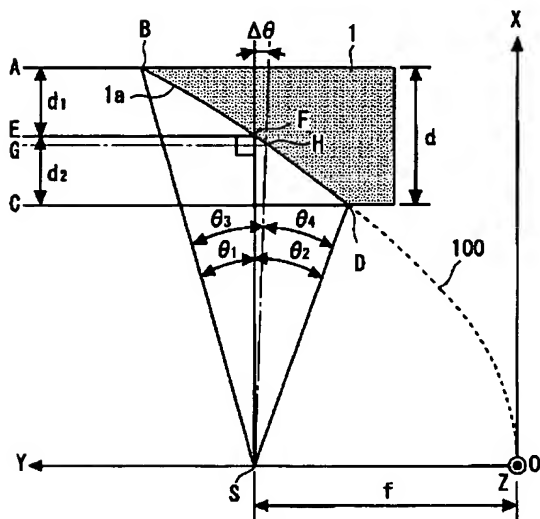
【図 3】



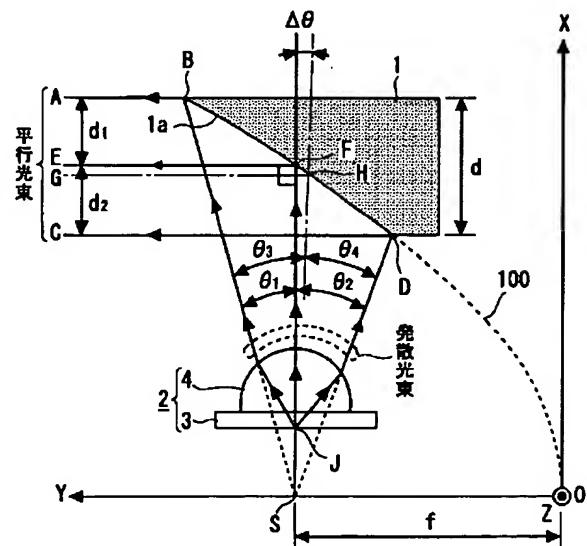
【図4】



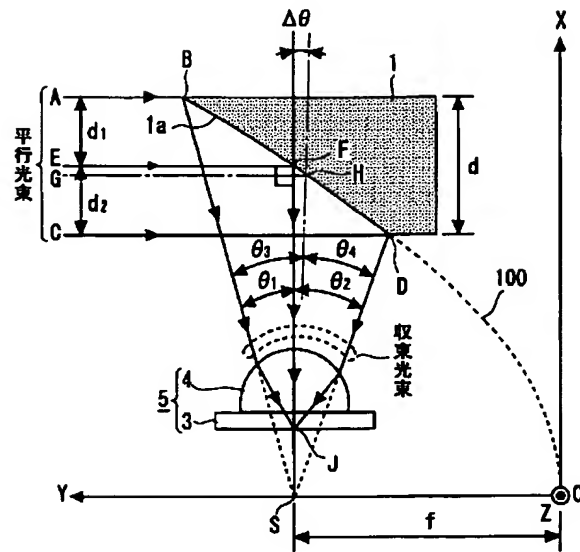
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 岩本 敏志
栃木県大田原市実取770番地 株式会社栃
木ニコン内

Fターム(参考) 2H041 AA23 AB14 AZ00 AZ05
2H087 KA12 NA04 NA05 RA04 TA01
TA03 TA04 TA06
5F072 JJ20 RR10 SS08 YY20